

## ⑫ 公開特許公報 (A)

平3-108614

⑬ Int. Cl. 5

G 01 F 17/00  
22/02

識別記号

庁内整理番号

C 6818-2F  
· 6818-2F

⑭ 公開 平成3年(1991)5月8日

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全7頁)

⑮ 発明の名称 体積計

⑯ 特 願 平1-244977

⑯ 出 願 平1(1989)9月22日

⑰ 発明者 石井 泰 東京都世田谷区砧8丁目20番5号

⑯ 出願人 石井 泰 東京都世田谷区砧8丁目20番5号

## 明細書

あるいは上記容器に入れた物体の体積を知ることを特徴とする体積計。

## 1. 発明の名称

体積計

## 2. 特許請求の範囲

1. 容器に音響管を接続してえられるヘルムホルツ共鳴子に補助音響共振器を音響的に結合するかあるいは上記音響管を上記補助音響共振器として兼用することにより構成された音響系と、この音響系に音響的に結合された少なくとも一つの音源と少なくとも一つの音検出器のマイクロホンと、演算装置と、上記音源を駆動する試験信号を発生する手段と、上記補助音響共振器の共振周波数の一つにおいて発振をさせる手段と、上記発振に同期したクロックパルスによって上記マイクロホンの出力信号があるいは上記マイクロホンの出力信号と上記試験信号とをサンプリングして上記演算装置にとりこむ手段とからなり、上記演算装置にとりこまれたデータから上記共鳴子の反共振周波数を求めることにより上記容器の容積あるいは上記容器に入れた物体の体積を知ることを特徴とする体積計。

2. 音響管の両端に容器と音源とを接続してえられる外部にたいして音響的に閉じた共鳴子に補助音響共振器を音響的に結合するかあるいは上記音響管を補助音響共振器として兼用することにより構成された音響系と、上記音源の直前の上記音響系内部の音を検出するマイクロホンと、演算装置と、上記音源を駆動する試験信号を発生する手段と、上記補助音響共振器の共振周波数の一つにおいて発振をさせる手段と、上記発振に同期したクロックパルスによって上記マイクロホンの出力信号あるいは上記マイクロホンの出力信号と上記試験信号とをサンプリングして上記演算装置にとりこむ手段とからなり、上記演算装置にとりこまれたデータから上記共鳴子の反共振周波数を求めることにより上記容器の容積あるいは上記容器に入れた物体の体積を知ることを特徴とする体積計。

## 3. 発明の詳細な説明

## (産業上の利用分野)

本発明は容器の容積や容器に入れた物体の体積を測定する装置、特に音響系の共振や反共振の現象を利用した音響式の体積計に係る。

## (従来の技術)

容器に入れられた液体もしくは固体の被測定物体の体積を音響的方法によって測定する音響式体積計として、本出願人は、特許願62-131660においてヘルムホルツ共鳴子の共振周波数を用いる装置を、特許願61-309267において外部に対して閉じた音響系の反共振周波数を用いる装置をそれぞれ提示した（以下においては上記二つの発明を前願発明と称する）。

前願発明は、それらの音響系の共振周波数や反共振周波数が容器と物体との間の隙間の体積、すなわち余積によって変化し、しかもその隙間の空間の形状にほとんど依存しないということを利用したものであるが、温度変化等によって容器内部の気体中の音速が変化すると、共振周波数および反共振周波数は音速に比例して変化する。これに

で測定するという方法などが提示されている。

共振周波数や反共振周波数を求める方法は上に挙げたものに限定されるわけではなく、そのほかにたとえば、音響系の音源を駆動する信号を入力とみなし、系内の音圧を検出するマイクロホンからの信号を出力とみなして音響系の伝達関数を想定し、この伝達関数の極すなわち系の共振周波数あるいは伝達関数の零点すなわち反共振周波数の測定を、線形予測法や適応フィルタ法などの数学的手段を用いて行う方法がある。

上記の方法は、いわゆる伝達関数のパラメータ推定法といわれるもので、共振周波数や反共振周波数を測定する一方法として広く知られているものであるが、このような方法を前願発明に適用する場合には、広帯域の不規則信号など適当な試験信号を入力として音源に与え、この試験信号とそのときのマイクロホンの信号とを一定時間ごとにサンプリングしアナログーディジタル変換して演算装置にとりこみ、これらのとりこまれたデータを用いて共振周波数や反共振周波数の推定の演算

対処するため、前願発明においては、音響系の寄生的な共振周波数や、あるいは容器等に接続された補助音響共振器の共振周波数を求める、これらと音響系の主たる共振周波数や反共振周波数との比をとり、その比から被測定物体の体積を算出するようしている。すなわち、被測定物体の体積が変わったときには、主たる共振周波数や反共振周波数は余積の変化に応じて変化するが、上記の寄生的な共振周波数や補助音響共振器の共振周波数はほとんど変化しない。一方、温度等が変わった場合には、主たる共振周波数、反共振周波数のみならず、寄生的な共振周波数、補助音響共振器の共振周波数もまた音速に比例して変化するので、上記の周波数比は不变であり、この方法によって温度変化などの影響が補償される。

## (発明が解決しようとする課題)

これらの共振周波数や反共振周波数を求める有効な方法として、前願発明においては、共振周波数あるいは反共振周波数において発振するように電子回路を付加し、その発振周波数をカウンタ等

を行い、その結果から被測定物体の体積を算出する。しかしながら、主たる共振周波数や反共振周波数は通常数十ヘルツの範囲で、それに対応するサンプリングの周波数も比較的に低くて済むが、補償に用いる寄生的な共振周波数や補助音響共振器の共振周波数は通常1キロヘルツ程度であり、これらを精度よく推定するためには数十キロヘルツのサンプリング周波数が必要で、そのために高速度の高価なアナログーディジタル変換器を使用しなければならない。

## (課題を解決するための手段)

高速度のアナログーディジタル変換器を使用しなければならないという上記の課題は、本発明においては次のような手段により解決される。すなわち、体積を測定するための音響系の寄生的な共振周波数の一つにおいて発振させるか、あるいは上記の音響系に結合された補助音響共振器の共振周波数の一つにおいて発振させるようにし、この発振に同期したクロックパルスを発生し、このクロックパルスによって音響系の入力である試験信号

と出力であるマイクロホンの信号とをサンプリングして演算装置にとりこみ、そのとりこまれたデータを用いて主たる共振周波数あるいは主たる反共振周波数の推定を行う。なお、マイクロホンの信号だけを演算装置にとりこむ場合もあるが、これはその信号のパワースペクトルを線形予測法や高速フーリエ変換などの手法により測定して系の主たる共振周波数や反共振周波数を推定する場合である。

## (作用および効果)

上記の方法によれば、サンプリングして演算装置にとりこむべき信号は、主たる共振周波数や反共振周波数の測定に関連した比較的低周波の信号だけで済むから、使用するアナログーディジタル変換器も低速のもので済む。さらに、温度変化や音響系内部の気体の組成変化などにより音速が変化し、上記の主たる共振周波数や反共振周波数が音速に比例して変化しても、アナログーディジタル変換のサンプリング周波数もまた音速に比例して同じ割合で変化するから、こうしてとりこまれ

たデータを用いて演算して最終的にえられる被測定物体の体積の測定値には音速変化に起因する誤差は生じない。すなわち、本発明においては、温度変化等に対する補償が、演算に先立って、データを演算装置にとりこむ際の信号のサンプリングの段階で既に行われてしまっている。

## (第1実施例)

本発明の第1実施例を示す第1図において、1は空のときの容積が $V_0$ の容器で、そのなかに液体7が体積 $V$ だけ入れられている。また1の上部の栓2を内部断面積 $S$ 、長さ $\ell$ の音響管3が貫通している。5は音源で短い導管9を通して容器1の内部を音響的に駆動する。この音源としては容器1が小容積の場合はイヤホンなどが用いられる。容器1が大容積の場合にはスピーカなどが用いられる。6は音検出器のマイクロホンであって、短い導管4を通して音響管3内部の音を検出する。検出すべき音が可聴周波数以下の場合には微圧センサなどが6のマイクロホンとして用いられる。8は出口弁であって、この弁を通して液体7は外

部にとりだされる。

容器1の上部の余積は $V_0 - V$ であるが、この体積による音響コンプライアンス $C$ は

$$C = (V_0 - V) / \gamma P_0 \quad (1)$$

である。ここで $\gamma$ は容器1内部の気体、通常は空気、の比熱比、 $P_0$ は気圧である。また音響管3内部の気体の質量による音響イナータンス $L$ は

$$L = \rho \ell / S \quad (2)$$

である。ここで $\rho$ は音響管3内部の気体、通常は空気、の密度である。上記二つの音響要素は一つの音響共振器を構成するが、これはいわゆるヘルムホルツ共鳴子であって、その共振周波数 $f_r$ は

$$\begin{aligned} f_r &= (1 / 2\pi) \sqrt{1 / LC} \\ &= (c / 2\pi) \sqrt{S / \ell (V_0 - V)} \end{aligned} \quad (3)$$

である。ここで $c$ は音速であり、

$$c = \sqrt{\gamma P_0 / \rho} \quad (4)$$

である。(3)式で示されるように、 $f_r$ は余積 $V_0 - V$ の関数であり、もし $V_0$ が既知であれば共振周波数 $f_r$ よりその容器のなかに入れた物体

7の体積 $V$ が知れる。また、 $V_0$ がわからなくても、体積既知の物体を用いて較正を行えば、 $V$ と $f_r$ との関係を実験的に定めることができ、この関係を用いて $f_r$ から $V$ を知ることができる。さらにまた容積未知の空の容器があった場合には、 $V = 0$ であるから、その容器の口に第1図のように音響管、音源、マイクロホン等を接続した栓もしくは蓋をつけることによりその容積 $V_0$ が知れる。しかしながら実際には温度変化などにより音速 $c$ が変化し共振周波数 $f_r$ が変化するから、それに対する補償手段が必要となる。

ここにおいて本実施例では、ヘルムホルツ共鳴子の寄生的共振である音響管自身の共振を利用して上記の補償を行う。すなわち、第1図の音響管3はヘルムホルツ共鳴子の構成要素の一つであるが、それ自身でも一つの音響共振器であり、それを補助音響共振器として兼用するが、その共振周波数は

$$f_{r'} = c / 2\ell \quad (5)$$

およびその整数倍の周波数である。これらの共振

周波数のいずれも音速  $c$  に比例し、補償に利用することができるが、以下においては最低次の共振周波数  $f_r$  を用いるものとして説明する。

第2図は音源5への入力  $e_s(t)$  ( $t$  は時間を表わす) からマイクロホン6の出力  $e_m(t)$  までの周波数伝達関数  $G(f)$  ( $f$  は周波数を表わす) であるが、ゲイン特性  $|G(f)|$  には主たる共振周波数である  $f_r$  と寄生的共振周波数である  $f_{r'}$  の二つの周波数において共振のピークを生ずる。そしてこれら二つの共振周波数のうち  $f_r$  が余積  $V$ 。一  $V$  に応じて変化し、また温度変化などにより音速  $c$  が変わった場合には  $f_r$ 、 $f_{r'}$  とも同じ割合で変化する。

第3図は第1図の音響系に接続される電子回路や演算装置を示すものである。マイクロホン6の出力  $e_m(t)$  は増幅器20によって増幅されるが、ここで低域フィルタ21および高域フィルタ21' 二つの成分に分離される。これら二つのフィルタのカットオフ周波数  $f_c$  は、第2図に示したように、 $f_r$  と  $f_{r'}$  の中間に設定されており、信号  $e_m(t)$

のうちの  $f_r$  近傍の周波数の成分は低域フィルタ21を通ってのちアナログーディジタル変換器22によってディジタル量に変換され、演算装置23にとりこまれる。一方、信号  $e_m(t)$  のうち  $f_{r'}$  近傍の周波数の成分は高域フィルタ21' を通った後フェーズロックループ (PLL) 回路24への入力となる。PLL回路24の出力は加算器26を通ってパワー増幅器25で増幅されて音源5から音として放射される。すなわち、20, 21', 24, 26, 25 は音響系を含んだ一つの発振ループを構成し、PLL回路24の入出力間の位相差を適切に調整すると、第2図に示した音響系の位相特性  $\angle G(f)$  の曲線上の  $A'$  点にロックされ、 $f_{r'}$  の共振周波数において持続的に発振する。

27は周波数てい倍器で、PLL回路24の出力を周波数てい倍してクロックパルスとし、この発振に同期したクロックパルスによって、アナログーディジタル変換器22において低域フィルタ21の出力信号のサンプリングが行われるようになっている。28は試験信号発生器で、低周波の不規則信号

やチャーブ信号など、ヘルムホルツ共鳴子の共振周波数  $f_r$  の推定に適した試験信号を発生するが、この信号は加算器26においてPLL回路24の出力と加算されてパワー増幅器25で増幅されて音源5への入力信号  $e_s(t)$  となる。すなわち、音源5からはPLL回路からの周波数  $f_{r'}$  の信号と上記の試験信号とが重畳された音が放射される。また28が発生した試験信号は、上記のクロックパルスによってサンプリングを行うアナログーディジタル変換器29によってディジタル量に変換され、演算装置23にとりこまれる。

演算装置23においては、29によってとりこまれた試験信号のサンプル値データを入力と見なし、22によってとりこまれたマイクロホンの出力信号のサンプル値データを出力と見なして、その間の伝達関数のパラメータ推定を行ってヘルムホルツ共鳴子の共振周波数  $f_r$  を求め、その値から容器の容積  $V$  や物体の体積  $V$  を算出し表示する。

ここで注意すべきは、ここで求められた  $f_r$  の値は、ヘルムホルツ共鳴子のそのときの実際の共

振周波数と必ずしも一致しているわけではなく、クロックパルスの周波数を基準にした共振周波数が求められることである。いいかえれば、音速  $c$  がある基準値の場合の  $f_r$  の値が求められる。そして実際の音速がこの基準値と異なっていても、それによる実際の  $f_r$  の変化分は、前記のクロックパルスの周波数変化によって自動的に補償され、演算装置で求められる  $f_r$  の値は不变であるということである。

#### (第2実施例)

第4図は、前例のようにヘルムホルツ共鳴子の一部である音響管3を補助音響共振器として兼用するのではなく、補助音響共振器として専用の音響系をヘルムホルツ共鳴子に結合して使用した実施例である。すなわちこの場合の補助音響共振器は音響管3の内部に支持枠13等で支持された長さ  $l'$  の一端閉止の音響管14で、その共振周波数は

$$f_{r'} = c / 4 l' \quad (6)$$

およびその奇数倍である。音響管14の閉止端の近くには短い導管12および12' によってそれぞれ補

助音響共振器に専用のマイクロホン6' と音源5' が接続されている。一方、主たる音響共振器であるヘルムホルツ共鳴子は、短い導管15によって接続された音源5によって音響的に駆動され、そのときの容器1内部の音圧が、同じく導管15を通ってマイクロホン6によって検出される。音響管3の上端は閉じられているが、そのかわりに、上端付近に孔16があけられていて、これが開口部になっている。このような構造にした理由は、埃などが容器1の中に沈降することを防ぐためである。同じ理由により、J字形の管を音響管3として使用し、その外気への開口部が下向きになるようにする場合もあるが、このように曲がった管を使用しても差し支えなく、その音響的な機能は直管と変りはない。

第5図は第4図の音響系に接続される電子回路や演算装置を示すものである。マイクロホン6' の出力信号  $e_m'(t)$  は増幅器20' によって増幅され高域フィルタ21' を通ってP.L.L.回路24の入力となる。24の出力はパワー増幅器25' で増幅され

て音源5' への入力信号  $e_s'(t)$  となる。そしてこのループによって  $f_r'$  なる補助音響系の共振周波数において発振が持続的に行われる。マイクロホン6の出力信号  $e_m(t)$  は増幅器20によって増幅され、低域フィルタ21を通ったのちアナログ-デジタル変換器22によってサンプリングされデジタル量に変換されて演算装置23にとりこまれる。その際、P.L.L.回路24の出力を周波数てい倍器27によって周波数てい倍してえられるクロックパルスによって信号のサンプリングが行われることは前例と同様である。演算装置23においては、このとりこまれたサンプル値データからそのパワースペクトルなどを計算してヘルムホルツ共鳴子の共振周波数  $f_r$  を求め、その結果から容器の容積V<sub>0</sub> や物体の体積Vを算出し表示する。なお、上記の演算方式では、音響系への入力信号は使用しないから、試験信号発生器28の出力はパワー増幅器25で増幅されて音源5への入力信号  $e_s(t)$  となるだけで、演算装置23にとりこまれることはない。

### (第3実施例)

第6図は外部にたいして音響的に閉じた共鳴子を利用した実施例である。すなわち、容器1と音源の箱11が音響管3で接続され、一つの共鳴子を構成している。5は音源で、その振動板前面の室の容積はV'である。6は音検出器のマイクロホンであって、長さl'の導管4を通して音源直前の音、この場合は箱11内部の音を検出する。8は出口弁であって、この弁を通して液体7は外部にとりだされるが、その際に生ずる容器1内外の圧力差は毛細管10を通して平衡する。しかしながら、毛細管10の内径が小さくその音響抵抗が非常に大きいので、外部にたいして音響的には閉じた系になっている。

第7図は第6図の音響系の音源5への入力信号  $e_s(t)$  からマイクロホン6の出力信号  $e_m(t)$  までの周波数伝達関数G(f)を示すものである。この図からわかるように、G(f)には  $f_r$ 、 $f_r'$ 、 $f_r''$  の3つの特異点が存在する。この実施例の場合、 $f_r$  は被測定物体7の体積Vによって変化

する主たる反共振周波数であって、音源の箱11から音響管3の方をみたときの音響インピーダンスが極小となる周波数であり、その値は(3)式と同じである。 $f_r''$  は音響管3自身の共振周波数であり、第1図の場合と同様にこれを補償用の共振周波数として利用することもできるが、この実施例では、マイクロホン6を接続した長さl'の導管4の最低次の共振周波数  $f_r'$  を補償に利用する。すなわちこの場合の補助音響共振器は導管4であって、その共振周波数の一つ  $f_r'$  において発振せしめ、この発振に同期したクロックパルスによって音源5への入力信号  $e_s(t)$  およびマイクロホン6の出力信号  $e_m(t)$  を演算装置にとりこみ、とりこまれたサンプル値データからパラメータ推定の手法等によって反共振周波数  $f_r$  を求め、その値から容器の容積V<sub>0</sub> や物体の体積Vを算出し表示する。これらの信号処理は第3図に示した電子回路によって行われる。

### 4. 図面の簡単な説明

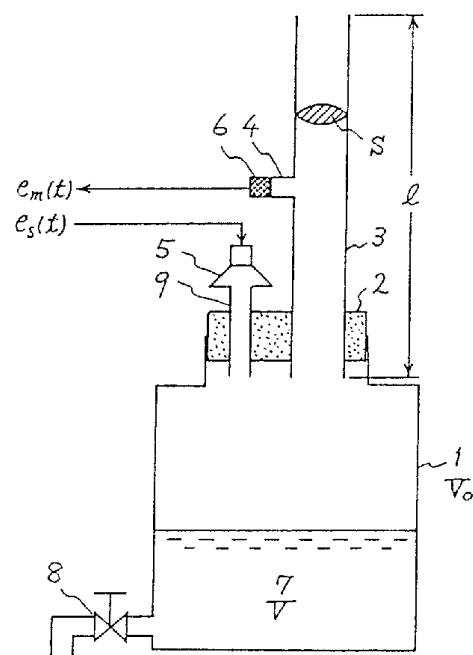
第1図は本発明の第1実施例の音響系、第2図

は第1図の音響系の周波数伝達関数、第3図は第1図ならびに第6図の音響系に接続される電子回路、第4図は本発明の第2実施例の音響系、第5図は第4図の音響系に接続される電子回路、第6図は本発明の第3実施例に用いられる外部にたいして閉じた音響系、第7図は第6図の音響系の周波数伝達関数である。

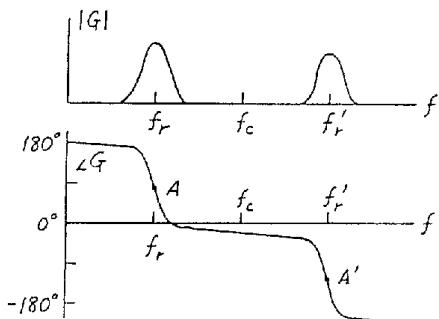
1 ……容器、2 ……栓、3 ……音響管、4 ……マイクロホンへの導管、5、5' ……音源、6、6' ……音検出器のマイクロホン、7 ……容器に入れた物体、8 ……出口弁、9 ……音源への導管、10 ……毛細管、11 ……音源の箱、12、12' ……導管、13 ……支持棒、14 ……音響管、15 ……導管、16 ……孔、20、20' ……増幅器、21、21' ……フィルタ、22 ……アナログーディジタル変換器、23 ……演算装置、24 ……フェーズロックループ（PLL）回路、25、25' ……パワー増幅器、26 ……加算器、27 ……周波数てい倍器、28 ……試験信号発生器、29 ……アナログーディジタル変換器。

特許出願人 石井 泰

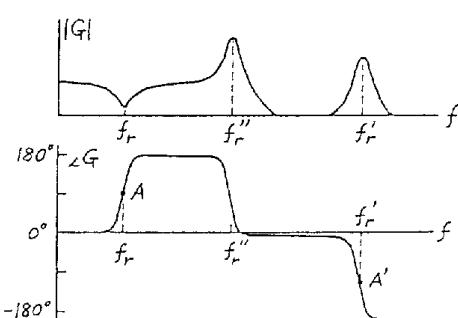
第1図



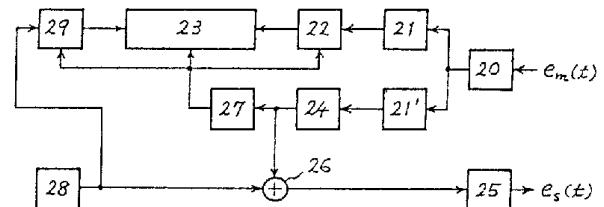
第2図



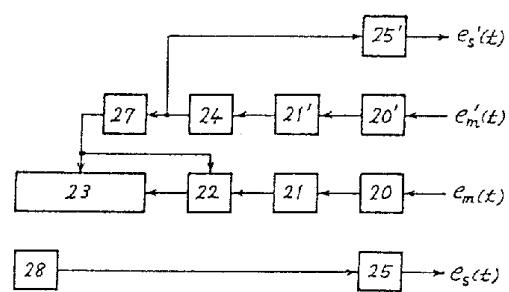
第7図



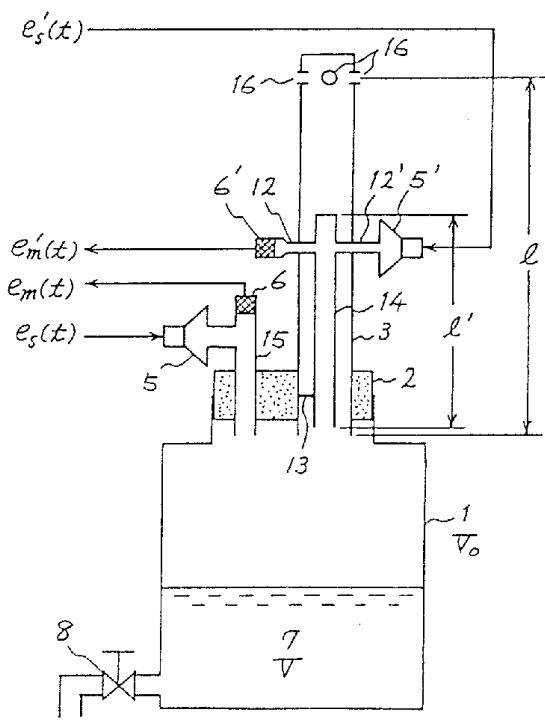
第3図



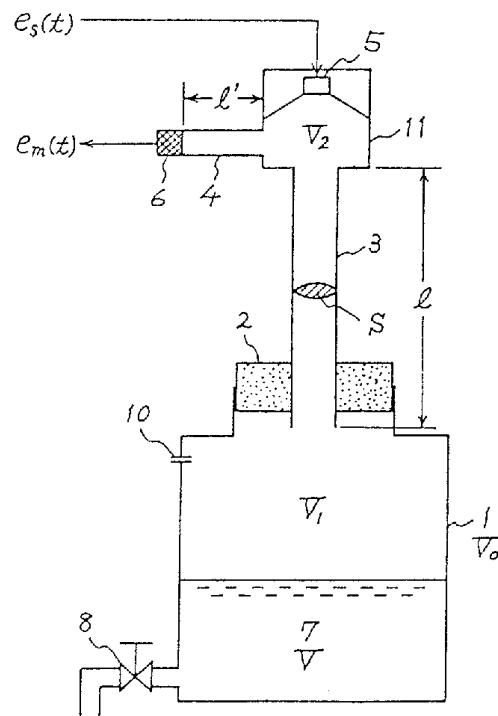
第5図



#### 第4図



### 第6図



**PAT-NO:** JP403108614A  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 03108614 A  
**TITLE:** VOLUMETER  
**PUBN-DATE:** May 8, 1991

**INVENTOR-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
ISHII, YASUSHI	

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
ISHII YASUSHI	N/A

**APPL-NO:** JP01244977

**APPL-DATE:** September 22, 1989

**INT-CL (IPC):** G01F017/00 , G01F022/02

**US-CL-CURRENT:** 73/149 , 73/579

**ABSTRACT:**

**PURPOSE:** To compensate for temperature change or the like by obtaining a resonating frequency of a Helmholtz resonator from the data sampled and taken into an operating device and obtaining the volume of a container.

**CONSTITUTION:** An output  $em(t)$  of a microphone is amplified by an amplifier 20. Frequency components in the vicinity of a resonating frequency  $fr$  of the output are, through an LPF 21, converted to digital values by an A/D converter 22 and taken into an operating device 23.

Moreover, frequency components in the vicinity of a parasitic resonating frequency  $f'r$  of the signal  $em(t)$  are, through an HPF 21', input to a PLL circuit 24. An output of the circuit 24 is amplified by a power amplifier 25 through an adder 26 to be projected as a sound from a sound source. Meanwhile, a test signal from a test signal generator 28 is taken into the device 23 through an A/D converter 29. A parameter of a transfer function between data of sampling values taken from the converters 22, 29 is presumed in the device 23, so that the resonating frequency  $fr$  of a Helmholtz resonator is obtained. The volume of a container etc. are calculated and displayed based on the obtained resonating frequency.

COPYRIGHT: (C)1991,JPO&Japio